

公開講座等に向けたマイクロプロセッサによる電子回路の プログラム制御学習指導のための製作技術の習得

白井治彦，本堂義記，岡井善四郎，
松山幸雄，篠 競，水野広治（第三技術室）

1 はじめに

本研修では、マイクロプロセッサを利用した電子機器等のプログラム制御学習を目的に行なわれる中高生向けの公開講座等の地域活動企画や、電子・情報系学部学生の基礎実験のテーマに役立てるための製作技術や指導方法の習得を目指した。

ここではマイクロプロセッサとして制御用 IC のひとつである PIC（Peripheral Interface Controller）を用いた。PIC は比較的安価で一般に広く利用されている IC で、種類により規模の大小はあるがプログラムによる入出力やタイマー、A/D 変換制御など一通りの CPU の機能がある。

研修では、まず受講者全員が PIC の基本動作や C 言語を用いたプログラミングおよび開発環境ソフトウェアを利用した基礎技術を習得した。また、研修受講者全員の集合研修による電子回路の製作やその制御プログラミング学習を行ない、その後、各自で公開講座企画等に役立つような PIC を中心とした応用電子回路およびそのプログラミングについて設計・製作した。

中高生などプログラミングの初心者では、プログラム構造とその制御動作を関連させて理解するのは困難である。そのため、プログラム開発部分はブラックボックス化される場合が多い。そのため、本研修では少しでも初心者がコンピュータと周辺機器とのインターフェイスおよびその制御プログラム等の動作が少しでも理解できるような新たな学習指導方法の構築も併せて検討した。

2 PIC と開発環境

PICとは、マイクロチップ・テクノロジー社が製造している制御用ICの総称である。本研修では、図2.1に示すようなPICの学習と開発の基盤として同社製のPICKit 2 スタータキットを使用した。これは、ソフトウェアとしては統合開発環境 MPLAB IDE、フリーのCコンパイラ、PICKit 2 プログラマ、また、ハードウェアとしてPICKit 2 ライタやデモボードなどがセットになったもので、本研修に最適な環境を構築できた。

2.1 PICの概要

PICは、CPU、メモリ(RAM, ROM)、I/Oなどが1チップに収められたデバイスであり、ROMに書き込んだプログラム

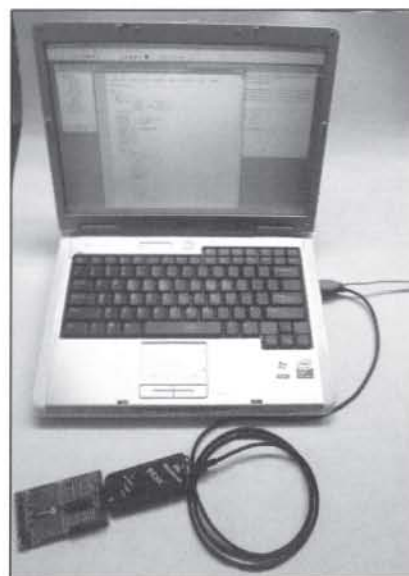


図 2.1 PICKit 2 とパソコンでの利用

によって制御される。PICを使うことで、ディスクリート部品で電子回路を製作する場合に比べ簡単な回路構成でより複雑な制御を実現できる。

本研修では、PICの数多いバリエーションのなかで、8ピンの PIC12F675 と20ピンの PIC16F690を使用した。両チップに共通な仕様としては、CMOSデバイスで、動作電圧範囲は2.0Vから5.5V、汎用ポートは1ピン当り25mAまで流すことが可能なのでLEDなどを直接駆動できる、などである。また、CPU部は外部クロックの場合最大20MHzで動作する。プログラムの命令語長は14ビット、データ長は8ビットである。そのほか、A/Dコンバータ、コンパレータ、タイマーなどが内蔵されている。PIC16F690は、PIC12F675を拡張した仕様となっており、PIC12F675の内蔵オシレータが4MHzなのに対して、最大8MHz可変と高速化しており、使用できるI/Oなども増強され、また、USART(シリアルインターフェイス)やPWMなどの機能が追加されている。PIC12F675とPIC16F690の簡略化した仕様を表2.1に示す。

表 2.1 PIC12F675 と PIC16F690 の仕様

デバイス	プログラム メモリ	データメモリ		I/O	10-bit A/D (ch)	コンパレータ	タイマ 8/16-bit	SSP ECCP+ EUSART
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC12F675	1024	64	128	6	4	1	1/1	No
PIC16F690	4096	256	256	18	12	2	2/1	Yes

2.2 研修で用いた PIC の開発環境

本研修でのプログラム開発にはC言語を使用した。PIC開発用のCコンパイラは有償、無償を合わせて複数あるが、研修では、無償で利用できるHI-TECH Software社のPICC Liteを使用した。PICC LiteはANSI準拠のCコンパイラなので、受講者のC言語の知識を活かせ、余分な学習の負担を減らせる。

統合開発環境ソフトウェアは、マイクロチップ テクノロジー社のMPLAB IDEを使用した。このソフトウェア上で開発のすべての工程、つまり、プロジェクトの新規作成、エディタを使ったプログラムの作成、PICC Liteを呼び出してのコンパイル、プログラムのシミュレーションやデバッグ、PICkit

2(ROM)ライターを使用してPICへのプログラムの書き

込みなどを行なうことができる。また、ライター専用のソフトウェアPICkit 2プログラマを使って、作成済みのプログラム(HEX形式)をPICに書き込むことなどもできる。パーソナル・コンピュータ(PC)との接続にはUSBケーブルを用いる。試作回路基板(デモボードなど)の接続は本体に備わった6ピンコネクタを使用する。

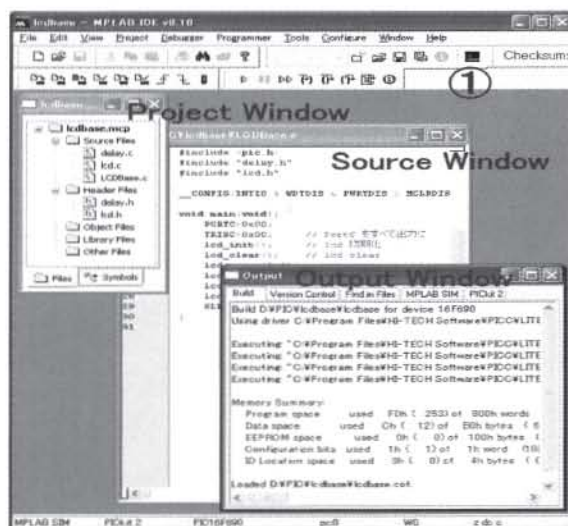


図 2.2 MPLAB でのプログラム開発

2.3 サンプル回路（液晶デジタル表示器）の製作と開発環境を用いたプログラミング開発

まず研修受講者全員がPICや開発環境を理解するための演習課題として、関連サイトページ³⁾にある「LCD(Liquid Crystal Display)ディスプレイの接続16F690」を参考に、PICを用いたLCD表示回路の製作およびプログラミングを行なった。回路は、PICkit 2のデモボードに SUNLIKE 社の LCD (SC2004CSWB 20x4) を接続した。LCD動作のためのプログラムはシリアル制

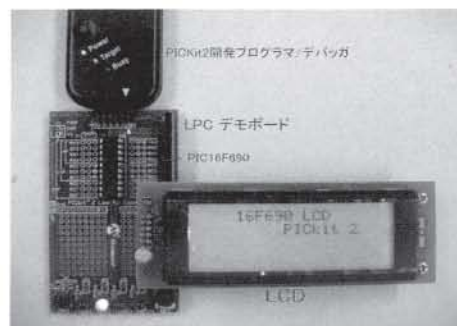


図 2.3 LCD デジタル表示器の製作

御・液晶表示サイトページ⁴⁾に記載されている LCD 駆動ライブラリ(lcd.c)やサンプルプログラムを理解するため、まずサンプルプログラムをそのまま用いて PIC に書き込み、基本動作を確認した。確認後、プログラムを変更しながら機能拡張に挑戦した。

3 プログラミング制御学習のための PIC を用いた電子回路の製作

3.1 AD コンバータを利用した PWM 回路の製作

本専門研修で用いる PIC には A・D コンバータ機能がある。これは実験などで得られるアナログ量をマイコンでデジタル処理する場合に必要な機能である。ここでは、この機能を利用してモータ制御や明るさを制御する調光回路などに用いられる PWM (Pulse width modulation) 回路について学習し、モデル回路の製作をおこなった。

A・D コンバータはアナログ信号をデジタル信号に変換する場合は A/D 変換ビットが分解能となる。すなわち 8 ビットであれば 0~255 段階であり、10 ビットであれば 0~1023 段階となる。本研修回路では 8 ビット分解能を用いて PIC 電源 5V を 255 段階で処理することにした。次に PWM については図 3.1 左上図で示すカウンタなどで作られる三角波信号と比較信号よりデューティ比の異なるクロック信号を作り回路電流の平均値を

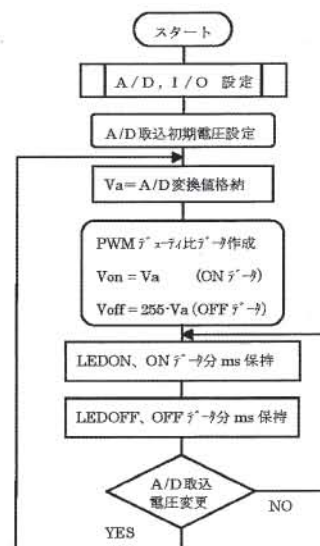
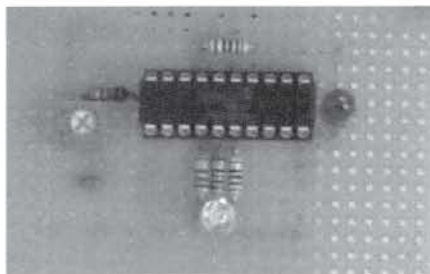
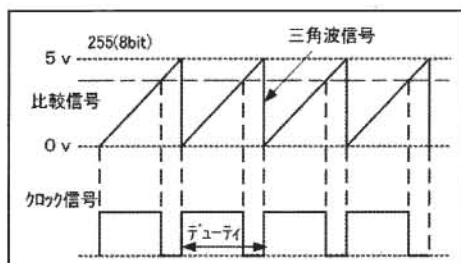


図 3.1 PWM 回路のための原理とプログラミングおよび製作回路

変える手法や直接プログラムでクロック信号を作る方法などがある。今回は後者の手法を用い、ボリュームで変化する外部信号を A・D コンバータで取り込み、デューティ比が可変できる PWM 信号を作った。図 3.1 右図に PWM 信号を作る C 言語によるプログラムの抜粋を示し、左下図に PWM

を使用したモデル回路を示す。

3.2 電子ルーレットの回路製作

PIC マイコンは、発光ダイオード(LED)を出力ポートに接続して直接点滅させることができる。すなわち、PIC のソフトウェアから各 LED に対応した出力ポートに電圧が加わる状態にプログラムすればよい。

研修では図 3.2 のような 8 個の赤色 LED と 2 個の白色 LED を使用して点灯制御を行い、赤は順次点灯するようにした。白は赤の点滅速度により、交互点灯あるいは片側 1 個点灯になるようプログラムした。また、プッシュスイッチにより回転方向を変えられるようにした。時間経過とともに点滅速度が変わり、回転速度速くなったように見せることも可能である。

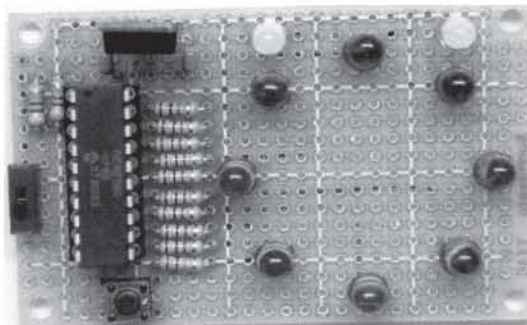


図 3.2 PIC を用いた電子ルーレット

3.3 レベルメータの製作

PIC の A/D 変換、LED のダイレクトドライブ機能を利用してレベルメータを作成した。これは電池等の電圧計測用に、LCD を用いて電圧に応じたデジタル・バー表示を、また LED によりレベルが表示できる回路を製作した。加えて LCD バー表示部では最大レベルも表示できる。計測電源として大和科学教材研究所製の手廻し発電機を使用した。最大表示電圧は 5V で、バー表示と LED は 16 段階で表示する。図 3.3 は製作したレベルメータとその回路図およびプログラムの流れを示す。ここで、A/D 変換時間 $52\mu s$ 、サンプルホールドタイム $48\mu s$ で全 A/D 変換時間は $100\mu s$ となり、また発電機のリップルタイムは 10ms で 100 サンプルとなるので、流れ図の[上位 8bit 読込]は 100 個の平均をとっている。

また、LCD のデジタル表示は小数点以下 2 桁まで表示できるようにプログラムを工夫した。回路作製は最初にブレッドボード上で回路組み立て、プログラム書込を行って動作を十分確認してからプリント配線を行った。

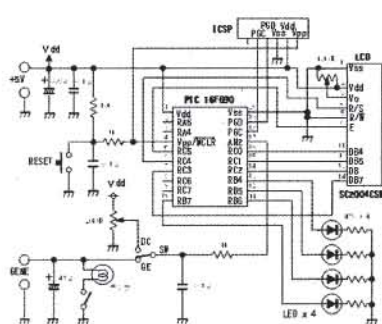
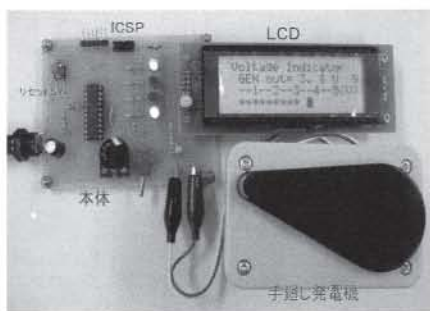


図 3.3 レベルメータとその回路図およびプログラムの流れ



4 初心者のための電子回路のプログラム制御学習指導に向けて

4.1 PIC プログラミングの手続き処理の自動化の試作

PIC 等のプログラミングの初心者にとって、たとえ C 言語であっても各手続きや機能を理解しな

がら目的のプログラムを組むことは困難であり，指導する立場にとっても苦勞する点である．一般には各手続きのモデルをあらかじめ用意しておいて無条件に利用させる場合が多い．

そのため本研修では，PIC の基本的な機能の手続きをあらかじめ基本関数として用意しておき，会話的に学習者に尋ねながら全体のプログラムを自動的に構成する簡単な自動前処理プログラミングシステムの試作を試みた．

4.2 学習指導用 PIC デモボードの試作

PIC を用いた周辺機器とのインターフェイスおよびその制御プログラム等による動作を理解させるための学習指導にはいくつかの方法があるが，今回その中でも最も基本的な学習方法として簡単な開発環境の中でプログラムの命令が直接電子部品を制御していることを実感できるデモボードを試作した．

デモボードは，図 4.2，4.3 のように PIC16F690 とシリアル回線用レベル変換 IC の他に，制御対象の入出力電子部品としてスイッチ，LED，ブザーそれに可変抵抗が取り付けられている．通常これら入出力の電子部品を PIC で制御するには，パソコン（PC）による開発環境で選択した言語のプログラムをコード化した後 PIC に書き込み実行する方法を採るが，このボードでは，PIC 内に簡単なモニタプログラムが書き込まれており，シリアル回線を通して PC のターミナルプログラムに接続することで対話的にレジスタ操作やプログラムの作成を可能にしている．このモニタが扱うプログラムは仮想のアセンブリ言語であり，プログラム領域の制限や解釈を容易にするために記述や機能を単純化している．アセンブリ言語の命令は現在 13 種類しかなく，記述も 2 文字の命令と一文字空けて 2 文字以下のレジスタ名か数値を示すオペランドで構成されている．また，扱えるレジスタも，出力用に C0 から C7 (PIC の PC0～7 に対応)，入力用に A0 から A2 (PA0～2 に対応)，作業／一時用に W0 から W4 程度である．これらの命令は対話的に入力することで処理可能な命令は実際にボード上で機能する．更にプログラムとして実行させる場合には，モニタに簡易なプログラム作成用コマンドとして挿入，追加，削除などが用意されているので，これらを用いて PIC の RAM 上に記録させることができる．その他には，実行，EEPROM へのセーブ／ロード，カット＆ペーストによるプログラムの入力等のコマンドが用意されている．モニタの主なコマンドやアセンブリ言語命令の仕様を表 4.1 に示す．

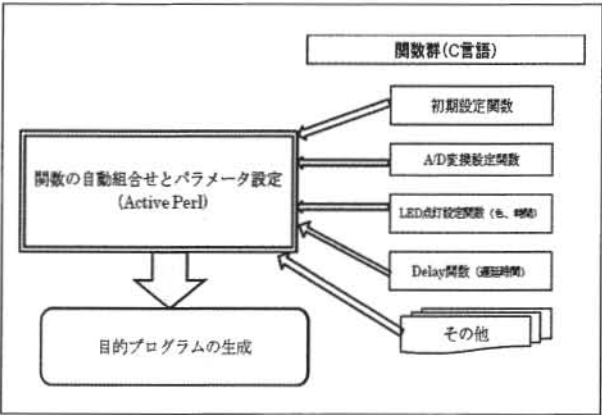


図 4.1 初心者のための手続き処理の自動化

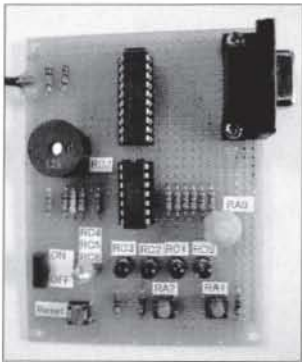


図 4.2 デモボード

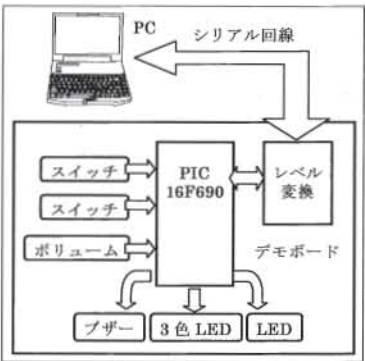


図 4.3 デモボードの構成

表 4.1 モニタのコマンドとアセンブリ言語命令

モニタコマンドと処理内容		アセンブリ言語命令と内容		レジスタ(reg)	
i (Insert)	アセンブリ言語命令挿入	LD reg	reg 内容を W0 に入れる	W0	作業レジスタ

a (Add)	アセンブリ言語命令追加
d (Delete)	アセンブリ言語命令削除
e (Execute)	プログラム実行
s (Save)	プログラム保存 (EEPROM)
l (Load)	プログラム読み込み (EEPROM)
u (Upload)	プログラム貼付け
t (Type)	プログラム表示
r (Reset)	リセット
h (Help)	ヘルプ表示

ST	reg	W0 内容を reg に入れる
AD	reg	W0 に reg 内容を加える
LI	val	W0 に val 値を入れる
AI	val	W0 に val 値を加える
SI	val	W0 から val 値を引く
EQ	val	W0 と val 値は同じ
GT	val	W0 が val 値より大きい
LT	val	W0 より val 値が小さい
JI	val	val 値へ飛ぶ
DI	val	val 値(ms)遅延
SR	val	W0 内容を val 値右シフト

W1~4	一時レジスタ
A0	ボリューム入力 (未対応)
A1	スイッチ入力 (未対応)
A2	スイッチ入力
C0~3	LED 出力
C4~6	3 色 LED
C7	ブザー出力
PC	C0~C7

5 まとめ

これまで我々技術部でも PIC に関する研修は何度か様々な形で実施されている。今回我々は、初心者向けに PIC による電子回路のプログラム制御の学習指導題材のひとつを目指すという立場で本研修を実施した。まず、比較的構成が単純でプログラミングも容易な PIC を取り上げ、開発環境には、Windows ベースとしては標準的で、しかも機能が豊富に用意されている PIC Kit2 や MPLAB を用いることで、C 言語による PIC の制御プログラム開発技術を受講者全員が習得できた。またこれを基に、公開講座等に利用可能ないくつかの簡単な応用回路やその制御プログラムを設計・製作した。併せて PIC の学習指導方法の構築も試みた。

今後、本研修の成果を基に地域活動や学生実験などに役立て行く予定である。

6 研修日誌

本研修での研修日誌を表 6.1 に示す。

表 6.1 研修日誌

日程	研修内容
8/3	研修内容および計画の打ち合わせ
8/25	参考図書の学習、関連ソフトウェアのインストール
9/18	関連ソフトウェアのインストール、プログラム開発法の学習
10/14	C 言語による PIC プログラムの開発法と関連キットの利用法
10/23	プログラミング、応用回路製作および今後の方針の検討
11/20	応用回路 (LCD ディスプレイ) の製作の検討
11/24~2/4	研修受講者各自の自己研修
2/5	研修受講者の進捗状況とまとめの方針の検討
2/26	報告書、発表等の検討

参考文献

- 1) 中尾真治, おもしろい PIC マイコン - PIC12F675 を使いこなす, オーム社(2004)
- 2) 中尾真治, C 言語ではじめる PIC マイコン - フリーの C コンパイラではじめよう, オーム社(2008)
- 3) はじめての PIC のページ, http://sky.geocities.jp/home_iwamoto/
- 4) SPECTRUM 電子工作の部屋 (液晶表示のページ),

http://members.at.infoseek.co.jp/spectrum123/lcd/lcd_menu.htm